



Foto: Shizuo Maeda

COMUNICADO
TÉCNICO

430

Colombo, PR
Agosto, 2019



Aplicação de materiais alcalinos para a higienização da mistura lodo celulósico e cinzas de madeira

Débora Evelyn Christo dos Santos
Shizuo Maeda
Márcia Toffani Simão Soares

Aplicação de materiais alcalinos para a higienização da mistura lodo celulósico e cinzas de madeira

Débora Evelyn Christo dos Santos, Engenheira Florestal, mestranda em Ciências Florestais na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG; **Shizuo Maeda**, Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR; **Márcia Toffani Simão Soares**, Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Do processamento da madeira para obtenção de celulose e papel, os principais resíduos gerados são o lodo celulósico, a lama de cal, dregs, gritz e a cinza de madeira. Pelas suas características químicas e físicas, esses resíduos apresentam potencial para uso como insumo florestal, podendo atuar como fonte de nutrientes para as árvores, proporcionando, adicionalmente, incrementos à qualidade do solo (Saarsalmi et al., 2012, Maeda; Bognola, 2013), com resultados variáveis e condicionados a diversos fatores, como a quantidade e qualidade do resíduo, qualidade do sítio, necessidades nutricionais e ciclo de corte da planta.

A resolução Conama nº 375 (Brasil, 2006a), que trata do uso de resíduos humanos (lodo de esgoto) como insumo agrícola e florestal, requer que o material a ser utilizado não apresente riscos sanitários ao ambiente, ao ser humano e aos animais.

Durante o tratamento dos efluentes industriais são gerados: o lodo primário, constituído por material sedimentado em decantadores primários do sistema de tratamento de efluentes; o lodo

secundário (biológico), derivado de sistema de tratamento secundário; e o lodo terciário, resultante da sedimentação química (Nolasco et al., 2000). Tais resíduos podem apresentar risco sanitário, em função do sistema utilizado para o tratamento de efluentes gerados na fábrica, e podem requerer tratamentos adicionais para controle de patógenos, como os processos de estabilização e higienização. O processo alcalino de estabilização com cal, denominado calagem, caleação, estabilização química ou alcalina, consiste na utilização de um produto alcalino em quantidade suficiente “para que o pH seja elevado, pelo menos, até 12,0 por um período mínimo de duas horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas” (Brasil, 2006b). Além disso, a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo reduz os riscos de putrefação, a concentração de patógenos (Andreoli et al., 2001) e a atratividade de vetores como moscas, mosquitos e ratos (Brasil, 2006b). Este processo, adicionalmente, torna as condições químicas do lodo mais adequadas para seu uso como insumo agrícola. Este

processo é legalmente preconizado para uso em lodos de esgoto e produtos derivados pela Resolução Conama nº 375, retificada pela Resolução Conama nº 380 (Brasil, 2006a, 2006b), também utilizadas como referência para lodos ativados de outras origens, em função da ausência de legislação específica que trata do uso de resíduos das indústrias de celulose e papel. Para este propósito, a cal é um dos insumos mais utilizados no saneamento, pela sua simplicidade e seu menor custo operacional entre os produtos alcalinos, (Tsutiya, 2002). Embora a lama de cal ($\text{NaOH} + \text{CaCO}_3$), gerada durante a clarificação industrial do licor verde, e as cinzas geradas nas caldeiras auxiliares de energia, também apresentem propriedades alcalinas favoráveis à estabilização química de lodos (Mahadal, 2017), o uso destes dois resíduos junto à cal requer adequações a condições específicas de cada planta geradora. Isto porque estes resíduos variam quanto ao volume, composição química, qualidade ambiental e sanitária para o uso florestal.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do uso da lama de cal e da cal virgem (CaO) na elevação do pH da mistura de lodo celulósico e cinza de madeira, utilizando-se como referência os critérios de higienização apresentados pela Resolução Conama nº 375 e nº 380 (Brasil, 2006a, 2006b).

O trabalho foi conduzido em fevereiro e março de 2017 sob condições de laboratório, nas dependências da Embrapa Florestas, em Colombo, PR. Os resíduos estudados foram oriundos

de indústria de celulose e papel não branqueados e destinados à elaboração de embalagens localizada em Pirai do Sul, PR. Para este experimento foram utilizados o lodo celulósico, constituído pela mistura de lodos primário, secundário e terciário, as cinzas de madeira, geradas a partir da queima de resíduos da biomassa de eucalipto, e a lama de cal gerada no processo de recuperação do licor de cozimento, sendo que todos os materiais foram coletados ao final dos respectivos processos de geração. Por sua vez, a cal virgem utilizada (CaO) foi adquirida no comércio local. O experimento constituiu-se de cinco tratamentos e três repetições sob delineamento inteiramente casualizado (Tabela 1), sendo: t1 = 70% de lodo (lo) e 30% de cinzas (ci) (mistura de referência); t2 = mistura básica constituída por 33% de lo + 33% de ci + 33% de lama de cal (lc); t3 = mistura básica + 2,5% de cal virgem (cv); t4 = mistura básica + 5% de cv; t5 = mistura básica + 10% de cv. A mistura 70+30 de lodo e cinza foi baseada na proporção em que os mesmos são gerados no processo industrial de produção de celulose e papel. A cal virgem, nos tratamentos 3, 4 e 5, foi aplicada após a formulação da mistura básica. Os resíduos foram utilizados in natura, com teores de umidade verificados em seus pontos de coleta, com pH em CaCl_2 de 8,77 para o lodo celulósico, 10,21 para as cinzas de madeira e 13,14 para a lama de cal. Após as misturas dos resíduos com a cal, estas foram acondicionadas em recipientes vedados para impedir a entrada de água e luz e

Tabela 1. Tratamentos formulados pelas misturas de lodo celulósico, cinza de madeira, lama de cal e cal virgem.

Tratamento*	Lodo celulósico	Cinza	Lama de cal	Cal virgem	Umidade inicial
			%		
1	70,0	30,0	00,0	0,0	81,1
2	33,3	33,3	33,3	0,0	77,2
3	33,3	33,3	33,3	2,5	73,9
4	33,3	33,3	33,3	5,0	72,3
5	33,3	33,3	33,3	10,0	66,8

* Percentagem de cal virgem calculada sobre a massa total da mistura de lodo celulósico, cinza de madeira e lama de cal.

mantidos à temperatura ambiente em laboratório, protegido do sol.

As avaliações do pH das misturas componentes dos tratamentos foram realizadas aos 2, 6, 9, 19, 26 e 33 dias após o início do período de incubação. Os dados foram submetidos à análise de variância para a verificação do efeito dos tratamentos no pH das misturas avaliadas. No caso de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial para verificar a evolução do pH em função do tempo, em cada mistura avaliada, com a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos.

Somente no tratamento constituído pela aplicação de 10% de cv à mistura lc+ci+lc (t5) foi verificada a elevação do pH para 12,0 dois dias após a incubação (Figura 1). O pH médio foi mantido acima de 12 até o 19º dia pós-incubação, seguido de gradual diminuição até a avaliação realizada no 26º dia de incubação. O tempo de manutenção de alcalinidade verificado em t5 (Figura 1) atende, com larga margem de segurança,

os critérios temporais relacionados à estabilização química preconizados pelas Resoluções Conama nº 375 e nº 380 (Brasil, 2006a, 2006b). Tais resoluções consideram esta condição favorável à redução, inviabilização ou inativação de bactérias, protozoários, fungos, vírus e helmintos com potencial patogênico, com alcance de parâmetros sanitários inferiores aos valores estabelecidos pela legislação vigente no país, para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo B (Brasil, 2006a). A higienização alcalina de lodo biológico com cal sob valores de pH semelhantes ao observado nesse estudo foi atestada por parâmetros sanitários, nos trabalhos realizados por Fernandes (2000), Barros et al. (2006) e Rocha (2009). Rocha (2009) confirmou o grande potencial da cal virgem na elevação e manutenção temporal do pH, o que ampliaria a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos em lodos. A elevação para valores superiores à faixa de pH mais adequada

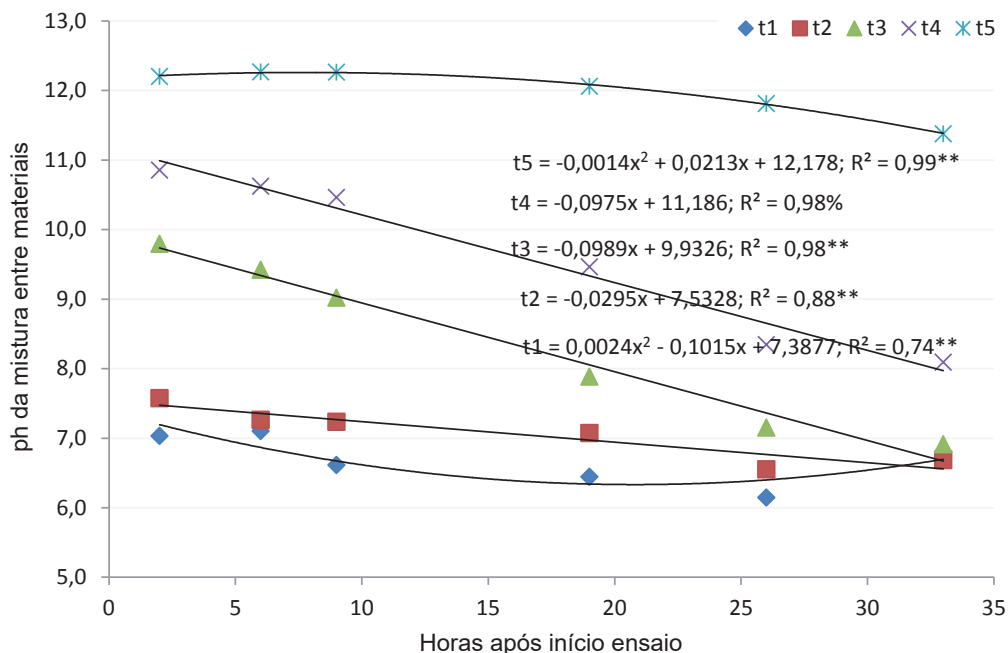


Figura 1. Evolução temporal do pH resultante da aplicação dos tratamentos t1 (70% de lodo e 30% cinza), t2 a t5, respectivamente com a aplicação de 0%; 2,5%; 5% e 10% de cal virgem na mistura de igual proporção de lodo celulósico, cinza de biomassa e lama de cal, avaliadas aos 2, 6, 9, 19, 26 e 33 após a incubação.

para o desenvolvimento da população bacteriana (entre 6,5 e 9,0) promove alterações na natureza coloidal do protoplasma celular dos mesmos, de forma letal (Pinto, 2001). No caso de helmintos, a amônia penetrando no interior e desnaturando as enzimas responsáveis pelo metabolismo do organismo inativa e destrói os seus ovos, provocando a sua morte (Barros et al., 2006). Além do choque alcalino, da elevação da temperatura e da geração de amônia, a cal promove uma alteração na concentração salina do meio e um aumento da pressão osmótica, o que dificulta a absorção de água, tornando o ambiente

inóspito para a sobrevivência de grande parte dos agentes patogênicos.

O tratamento t1, constituído pela mistura de cinzas de madeira (ci) ao lodo celulósico (lc), na proporção em que são gerados no processo industrial de produção de celulose e papel (70:30), sem a aplicação de cal virgem (t1), bem como o constituído pelo acréscimo de lama de cal (t2) foram ineficazes para a elevação do pH a 12,0 após 24 horas de incubação, não resultando em alteração significativa de pH, em nenhum dos períodos avaliados (Figura 1). Nestes dois tratamentos, os valores médios observados ao pH, considerando-se

todo o período avaliado, foram 6,7 e 7,1, respectivamente, inferiores ao observado para o lodo celulósico antes da incubação com os demais materiais. A aplicação de 2,5% e 5% de cal virgem (cv) à mistura lc+ci+lac, embora tenha ocasionado elevação significativa do pH para 8,4 e 9,6, respectivamente, no segundo dia pós-incubação, foi também insuficiente para elevar o valor do pH para 12, com diminuição gradual em função do tempo, seguindo uma resposta linear.

Com base nos valores iniciais de pH apresentados pelo lodo celulósico (8,77), cinzas de madeira (10,21) e lama cal (13,14), seria de se esperar o atingimento de valores mais elevados para o pH das misturas entre esses materiais (t2). É possível que o baixo poder de neutralização do lodo celulósico e a baixa reatividade da cinza de madeira não tenham sido favoráveis à solubilização do mesmo e, dessa forma, os efeitos na correção do pH da mistura entre esses materiais não tenha atingido a plenitude do potencial dos materiais misturados.

Embora com características químicas e físicas distintas, quando comparadas ao lodo biológico, os teores de umidade das misturas estudadas nesse trabalho podem não ter sido limitantes para a máxima reação dos materiais alcalinos, conforme observado por Mader Netto et al. (2003). A homogeneização dos materiais de cada tratamento no decorrer do trabalho poderia ser testada em estudos futuros, por possibilitar o aumento e a efetivação de novos pontos de contato entre as partículas dos resíduos utilizados, favorecendo a solubilização dos

compostos alcalinizantes e as reações de neutralização da acidez nas misturas estudadas.

A concentração de cal exerce efeito sobre os níveis de pH e tempo de estabilização do mesmo. A dose de lama de cal aplicada em proporção igualitária na mistura lodo celulósico e cinza de madeira estudada foi insuficiente para elevar o pH ao valor requerido para higienização. Para o atendimento da legislação, no que se refere à elevação do pH para 12 e manutenção desse valor por, no mínimo, duas horas, faz-se necessário a aplicação de 10% de cal (CaO) à mistura composta por lodo celulósico, cinza de madeira e lama de cal, na proporção igualitária entre os mesmos.

Referências

- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 483 p.
- BARROS, I. T.; COSTA, A. C. S.; ANDREOLI, C. V. Avaliação da higienização de lodo de esgoto anaeróbico através do tratamento ácido e alcalino. **Revista Técnica da Sanepar**, v. 24, n. 24, p. 61-69, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375, 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamentos de esgoto sanitários e seus produtos derivados. Brasília, DF, 2006a. 32 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 380**,

31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA nº 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF, 2006b. 2 p.

FERNANDES, S. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 3. p. 45-67.

MADER NETTO, O. S.; ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C.; TAMANINI, C. R.; FRANÇA, M. Estudo das variações de pH no lodo caleado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Rio de Janeiro, RJ. **Saneamento ambiental:** ética e responsabilidade social. Rio de Janeiro: ABES/AIDIS, 2003.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.74.417.

MAHADAL, S. A. **Higienização e incremento de nutrientes em lodo anaeróbio com adição de cinzas de biomassa vegetal para uso agrícola.** 2017. 329 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como

fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. cap. 6. p. 261-297.

ROCHA, A. L. C. L. **Higienização de lodo anaeróbio de esgoto por meio alcalino:** estudo de caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia – GO. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

SAARSALMI, A.; SMOLANDER, A.; KUKKOLA, M.; MOILANEN, M.; SARAMÄKI, J. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 63-70, 2012. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.05.006.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estação de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. de C. T. de; MELFI, A. J.; MELO, W. J. de; MARQUES, M. O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura.** São Paulo: Sabesp, 2002. cap. 4. p. 89-131.

Exemplares desta edição
podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Versão digital (2019)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Embrapa Florestas

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva

Neide Makiko Furukawa

Membros

*Cristiane Aparecida Fioravante Reis,
Krisle da Silva, Marilice Cordeiro Garrastazu,
Valderês Aparecida de Sousa, Annete Bonnet,
Alvaro Figueredo dos Santos,
Guilherme Schnell e Schühli,
Marcelo Francia Arco-Verde*

Supervisão editorial/Revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Neide Makiko Furukawa

CGPE 15410